

# 伸線加工による銅クラッドアルミニウム線の結合生成に関する研究

著者	高山 輝之
号	591
発行年	1981
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/11540">http://hdl.handle.net/10097/11540</a>

氏 名	高 山 輝 之
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 57 年 1 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 42 年 3 月 東北大学工学部金属材料工学科卒業
学 位 論 文 題 目	伸線加工による銅クラッドアルミニウム線の結合生成に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 辛島 誠一    東北大学教授 高橋 裕男 東北大学教授 田中英八郎    東北大学助教授 志村 宗昭

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

電線工業分野では、各種のクラッド材が実用化されている。銅クラッドアルミニウム線も、そのうちの 1 つであり、アルミニウムの宿命的な欠点であるハンダ付性、コネクタ接続性を、銅クラッド層により解消し、アルミニウムの軽量性、柔軟性を有する新しい導体材料と云える。

本研究は、この銅クラッドアルミニウム線の有用性に着目し、新しい製造方式の開発に取り組み、アルミニウムロッドのまわりに銅テープを縦沿えしテープ突き合わせ部を連続的に TIG 溶接した後、ダイスによる伸線加工のみで銅-アルミニウム間の結合を達成させるというもので、工業的には初めての方式である。従来の金属材料の冷間圧接技術として最も多く研究されているのは、ロールボンディングであるが、金属的結合生成に関して、結合が開始されるのに必要な臨界加工度が存在すること、臨界加工度未満の加工度でのマルチパス圧延では結合達成がなされないことが知られてきた。伸線加工によるクラッド材の結合に関する研究は皆無であり、種々の組み合わせでの伸線可否の検討はなされてきたが、結合の問題は触れないが、又は触れても結合生成はなされないとされてきた。

本研究の目的は、銅クラッドアルミニウム線の新しい製造方式の開発に関連して、伸線加工のみでの結合生成の可能性を明らかにした後、特に、銅-アルミニウムの結合に及ぼす技術的要因を明らかにすること、及び、伸線加工による結合生成の過程とその特質について明らかにしよう

とするものである。

## 第2章 銅クラッドアルミニウム線の製造に関する研究

本章においては、製造方式の開発のうち、特に、銅－アルミニウム間の結合に及ぼす各種要因について明らかにした。予備実験の結果、伸線加工のくり返しで全加工度99%で、銅－アルミニウム間に強固な結合が生成されることが見出されたため、実験用クラッドラインを設置し、クラッド条件、伸線条件の銅－アルミニウム結合に及ぼす影響を検討した。その結果、結合達成のために、

- a) 銅テープの材質としては、無酸素銅を用いること。
- b) 表面処理方法として、ワイヤブラッシングが有効であること。
- c) TIG溶接の際に、酸化防止のためにシールドボックスを設けて不活性雰囲気中で溶接すること。
- d) 伸線条件のうち、少ない加工度で結合を達成させるために、ダイス半角45°というような大きな角度のダイスを用いることが有効であること。
- e) 半角45°のダイスは、グリーンボンドの結合状態の段階で1パス入れることで有効であること。

などが明らかにされた。この結果として、全加工度約80%で、銅－アルミニウム間の結合が強固な銅クラッドアルミニウム線を製造することができるようになった。

## 第3章 伸線加工による銅－アルミニウム結合形成過程に関する研究

前章で、伸線加工により銅－アルミニウム間に強固な結合が生成することを見出したが本章の目的は、伸線加工による結合形成過程について明らかにしようとするものであり、まず、クラッド後順次伸線して、界面の結合状況の進展および特徴を明らかにすることにした。又ダイス角度の影響について観察した。次に、銅－アルミニウム界面に脆く硬い化合物層を形成させて伸線し、化合物層の破壊と新生面の生成について明らかにすることにした。化合物層の破壊にダイス角度の影響が顕著にみられたため、ダイス入口から出口にかけてのクラッド材の変形挙動について明らかにする目的で、伸線途中で停止し、クラッド層の厚さ変化、アルミニウムコアとの変形挙動の対応について、検討した。その結果、

### (1) 銅－アルミニウム界面の観察から

- a) 銅、アルミニウムをワイヤブラッシングし、順次伸線していくと界面に伸線方向、直角方向に結合がネットワーク状に生じる。
- b) 45°ダイスで伸線したとき、細かいネットワークが形成される。
- c) 結合開始の跡が認められるのは約58%加工度、強固な結合に至るのは約80%加工度である。
- d) 銅厚さと線径とは直線関係が成立しマクロ的には均一変形とみなされる。
- e) ワイヤブラッシングなしのとき、ネットワーク状の結合は生じない。

- (2) 銅-アルミニウム界面の化合物層の伸線加工による破壊状況の観察から
- f) 伸線加工により化合物層は伸線方向、直角方向に割れ長方形の破片となる。
  - g) 破片の大きさは、 $45^{\circ}$  ダイスのときが両方向とも小さく又、加工度の少ないうちからはば一定値に近い。
  - h) 加工度が大きくなると、破片の向きは伸線方向に対して  $45^{\circ}$  近傍の角度を有してきてネットワーク状になる。
  - i) 化合物層の割れ目の拡大されたところから、アルミニウムが押し出され銅-アルミニウム結合が形成される。
- (3) ダイス入口から出口での銅クラッド層厚さの測定から
- j) 銅-アルミニウム間の結合がない場合  $45^{\circ}$  ダイスを使用すると、銅面積比小さく、加工度大となると伸線不可能となる。
  - k)  $45^{\circ}$  ダイスで1パスの加工度大きくなると、ダイス入口側で銅の厚さが急激に大きくなり、次いで出口に近づく急激に減少する。
- (4) アルミニウムコアも含めた全体の変形挙動の観察から
- l) クラッド材全体での変形挙動は、 $45^{\circ}$  ダイスのとき銅の厚さ増加と対応してアルミニウムコアは、全体の加工度より大きく変形し、ダイス出口で同一加工度に落ちつく。即ち、銅クラッド層とアルミニウムコアとの変形に対応がみられる。

以上の結果について、ロールボンディングと対比させ、クラッド材特有の問題も含めて、特に $45^{\circ}$  ダイスでの変形の特異性と結合促進効果とを、主として伸線加工時における Redundant Work の大きさと関連づけて考察を行った。

## 第 4 章 結 論

本章では、本研究で得られた主要な結果についてまとめた。

### 補 足

補足として、銅クラッドアルミニウム線の工業化とその応用製品例を示した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

銅クラッドアルミニウム線は接続に対する信頼性が劣るというアルミニウムの欠点を銅クラッド層で解消するばかりでなく、軽量で柔軟性を有する新しい導体材料として注目されている。本論文は、この銅クラッドアルミニウム線の新しい製造方式の開発に関連して、特に伸線加工による銅-アルミニウム境界面の結合生成に注目し、結合生成に必要な技術的要因を明らかにするとともに、結合の生成過程とその特徴を解明した研究結果をまとめたもので、全編4章および補足からなっている。

第1章は序論で、金属材料の固相接合法に関する従来の研究結果の概要と、銅クラッドアルミニウム線の生まれた背景、および本研究の意義ならびに目的について述べている。

第2章では、予備実験によって伸線加工による銅-アルミニウム間の強固な結合生成の可能性を見出した後、アルミニウムコアのまわりに銅テープをTIG溶接し、伸線加工により銅-アルミニウム間の結合を達成させる方式を採用した経緯を述べている。そして、クラッド条件、伸線条件の結合に及ぼす影響について明らかにしている。クラッド条件としては、銅テープの材質を無酸素銅とすること、表面処理方法としてはワイヤブラッシングが有効であること、TIG溶接の際内面シーム部の酸化防止のためのシールドボックスを設けること、および伸線条件としては半角45°という大きな角度のダイスを用いること、グリーンボンド状態の段階でこの半角45°のダイスによる加工を行うのが有効であることなどが明らかにされた。

第3章では、伸線加工による結合形成過程を明らかにすると共に、特に半角45°のダイスによる結合促進効果について解明している。まず伸線後の界面の観察から結合が伸線方向、直角方向に網目状に生成すること、45°ダイスで伸線したときその網目が細くなることを明らかにした。ついでに結合生成過程を明らかにするためのモデル実験として、界面に化合物層を形成させたものを伸線したときの化合物層の破壊と新生面の生成について検討した。そして化合物層が伸線方向、直角方向に割れて長方形の破片となること、45°ダイスのとき破片が細くなること、網目状に生成した化合物の割れ目の間からアルミニウムが押し出されて結合が生成することを明らかにした。また伸線加工時の変形挙動の観察により、45°ダイスのとき変形域で界面に著しい不均一変形が認められたが、これに必要な余剰仕事と結合促進効果との関連性について考察を行っている。

第4章は結論である。

そのほか補足として、銅クラッドアルミニウム線製造の工業化とその応用についてまとめている。

以上要するに、本論文は金属材料の圧接において臨界加工度以下の加工のくり返しでは結合が生成されないとの従来の定説に対し、条件を整えることにより強固な結合生成が可能であることを見出し、その方法を確立すると共に結合過程についても知見を加えたもので、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。